

蠟燭的化學史

The Chemical History of a Candle

作者：Michael Faraday (麥可·法拉第)

譯者：胡景瀚*、林奕秀

國立彰化師範大學化學系

*chingkth@cc.ncue.edu.tw

第一章 蠟燭的製造、燃燒及火焰

各位來到皇家學院，參與我們舉辦的一系列演講，我感到非常地榮幸，為此我將講述蠟燭的化學歷史。先前我已經處理過這個主題了，如果您不介意，我希望每年都來演講這個主題；因為這主題本身相當有趣，為許多科學領域帶來精妙豐富的結果。所有主宰宇宙的定律，都參與且觸及了我們即將觀察的現象。要進入自然哲學的研究，沒有比從蠟燭的物理現象入手更好的方法了。因此我有信心，我選擇蠟燭、而非其它較新穎的主題不會讓您失望；較新穎的題材，即使它並不差，不一定會比較好。

開始之前容我說明一下：雖然我們的主題很好，而且我們對這主題懷抱真誠、嚴謹與哲學式的思維態度，我將在演講中忽略那些較年長的人。我希望能以對年輕人聊天的口吻來演講。在之前的幾場演講中，我已經這樣做了，如果您不介意，我仍將使用相同的方式。雖然我在這裡傳達的知識屬於所有人，但這並不妨礙我在這個場合，用類似之前的方式來演講。

■ 蠟燭的製造方式

現在，男孩和女孩們，首先我要說明：蠟燭是用甚麼做的。有些製造蠟燭的材料是相當奇特的。這裡有些木材和樹枝，特別適合燃燒。你看到這塊奇怪的材料，來自愛爾蘭的沼澤，叫做「蠟燭木」；這是種堅實、強硬、相當好的木材，非常適合作為支撐的材料，而且它們很容易燒起來，在蠟燭木的原產地它被製作成燃燒用的木屑；蠟燭木也能用來做火炬，它燒起來就像蠟燭，能放出明亮的光芒。這塊木頭本身就是蠟燭本質的最完美的例子，或許這就是我能呈現給你的。這塊小小的木頭不只提供燃料，還能藉著燃燒演示化學作用、利用持續穩定供應的空氣顯現出光和熱；事實上，它就是一根天然的蠟燭。

我們必須先談商業製造的蠟燭。這邊有幾根蠟燭，通常稱為「浸製蠟燭」(dips)。製造方式為：把一團棉花纏成一個環，將環浸入融化的動物脂肪，拿出來陰乾後，再浸入

脂肪；如此反覆動作，直到棉花上累積了一團動物脂肪。我手上的這些蠟燭會讓你對蠟燭的特性有些瞭解……它們實在又小又奇特。這些怪東西是以前礦工在煤礦坑裡用的蠟燭。古早的時候，礦工必須自己準備蠟燭，他們覺得小蠟燭在礦坑中比大蠟燭不容易引發爆炸；基於這個原因，以及經濟上的考量，礦工們做出不同重量的蠟燭……每磅有 20、30、40 或 60 支。之後蠟燭先是被一種叫做「鋼鐵廠」的燈所取代，然後又被戴維安全燈¹ 取代，接著還有其它類的安全燈。我手上有一支蠟燭，貝斯理上校跟我說是從皇家喬治號沈船上拿下來的。這根蠟燭沉在海中多年，受到鹽水的作用。但你看這支蠟燭保存良好；即使它可能折損、斷裂得很嚴重，但點燃後還是可以正常燃燒，一旦蠟燭開始熔化，脂肪就重回它的自然狀態。

蘭貝斯 (譯註：Lambeth，英國地名) 的費爾德先生給了我很多漂亮的蠟燭圖片和材料；所以現在就來說說它們。首先，這是牛脂——牛的脂肪，它可以被製造成放在這兒的美麗物質，也就是硬脂蠟燭。這種方法是給呂薩克，²或是某個將方法告知給呂薩克的人所發明的。硬脂蠟燭不像一般油膩膩的牛油燭，它倒是蠻乾淨的；此外你還可以刮下、弄碎蠟燭滴下的東西，這些滴下的蠟也不會弄髒任何東西。給呂薩克製造蠟燭的過程如下：先將石灰加入脂肪後煮沸、將油脂做成

肥皂，然後用硫酸移除石灰，並分解肥皂，就會留下脂肪重組過後的硬脂肪酸，同時也產生甘油。³甘油，是一種糖或類似糖的物質——從動物脂肪經過化學變化而產生，然後油從其中被擠壓出來。

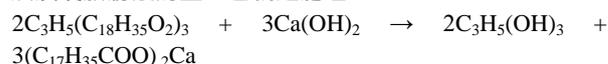
你看到這裡有一堆壓製的塊狀物，顯示在持續增加壓力的情況下，雜質被漂亮地從脂肪混合物中移出，最後你會得到融化的物質，將它鑄造成我所演示的蠟燭。我手中拿著的是硬脂蠟燭，是我曾經告訴你的，從動物油得到的硬脂肪酸所製造而成的。這邊有根鯨魚油蠟燭，則是用抹香鯨油純化做成的。我還有一些黃蜜蠟和精製蜜蠟，都可以用來做蠟燭。另外還有一種奇特的材料，叫做「石蠟」，以及一些石蠟蠟燭，是用愛爾蘭沼澤裡的石蠟做的。我們還有來自更為偏遠地帶的材料呢，我這邊還有從日本帶來的蠟，有位朋友慷慨地送給我，這種蠟是製造蠟燭的一種新材料。

這些蠟燭是如何做的呢？我已經跟你說過浸製蠟燭，接著我將呈現模具是怎樣做的。讓我們想像蠟燭是由可塑材料做的。「可塑！」，「此話怎講？蠟燭會融化，如果你能融化蠟燭，那當然是可塑的東西。」事實並非如此。在製造蠟燭的過程中，為了讓成品具有所需性質所做的努力，已經使得製造蠟

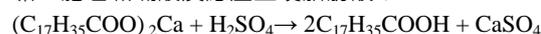
¹ 戴維安全燈 (Davy-lamp)，19 世紀英國科學家戴維爵士 (Sir Humphry Davy, 1778-1829) 發明；可在漫佈甲烷等可燃氣體的礦坑中使用，是專為礦坑照明安全而發明的照明器具。戴維爵士為 19 世紀英國科學家，因為電氣化學的實驗和戴維安全燈的發明而聞名，1803 年成為英國皇家學會的一員。

² 給呂薩克 (Joseph Louis Gay-Lussac, 1778-1850) 法國物理化學家，專長於氣體性質之研究。

³ 石灰溶於水成為鹼性的熟石灰，熟石灰與脂肪反應產生甘油及硬脂肪酸的鹽，也就是肥皂：



上式中的肥皂，因為鈣離子的關係不易溶於水，其實是皂垢。肥皂和硫酸反應產生硬脂肪酸：



硬脂肪酸製造的蠟燭比動物脂肪製造的蠟燭堅硬。給呂薩克於 1811 年申請了製造蠟燭的專利，它的製造方式可以移除反應過程中產生的甘油，這種蠟燭燃燒時少了惱人的氣味，也比較沒有黑煙。

燭這件事發生始料未及的結果。蠟燭並不總是可塑的。純蠟的蠟燭無法被塑形，而需要某種特殊的方法；雖然我能在一兩分鐘內說完，但我不打算在這邊花太多時間。蠟燭中的蠟是易燃、易融化的，因此不容易被塑形。然而，我們拿個能塑形的材料過來。這兒有一個框架，上面綁著幾個模型。首先把燭蕊穿過這些模型。辮子形狀的燭蕊由紗布支撐，這種燭蕊不需要重複剪蕊。這條線穿到底端，就栓在底部固定；用小栓子拉緊棉花並堵住孔隙，如此液體就不會流出來。在頂端橫過一根小棒子，這根棒子拉張棉花且將棉線固定在模型裡面。然後，動物脂肪融化後流入模子裡。一定時間後，待模型冷卻，從一角倒出多餘的動物脂肪，清理一下，再剪掉燭蕊的尾巴。現在模型裡面只剩下蠟燭，再來你只須把它倒過來，像我這樣做，蠟燭就會滾出來，因為蠟燭是做成圓錐形的，上面比下面小；因為它的形狀，只要輕輕搖晃，蠟燭就會掉出來了。硬脂肪酸和石蠟的蠟燭也是依同樣的方法製造的。

蠟燭的製造方法很奇特。就像你在這邊看到的，框架上掛著很多棉花，末端覆蓋金屬物，避免棉花在這些地方被蠟蓋住。將這些東西放在裝著融化的蠟的容器上方。你看，框架可以翻過來；而當它們翻過來時，我們就拿一桶蠟澆灌第一個框架，接著澆灌下一個，再下一個，依此繼續。當製造蠟燭的師傅倒完一輪後，如果較早被澆灌的框架中的蠟已經冷卻，他便從頭再澆覆框架第二層蠟，如此進行，直到每個框架上的蠟都累積了足夠的厚度。當框架依此方法被蠟覆蓋、填滿到足夠的厚實程度時，便將它們取

下並移到其它位置擺放。感謝費爾德先生慷慨提供，我這邊有幾個這類蠟燭的樣本，這些是半成品。覆蓋蠟的框架被取下之後，放在石板上捲起，用適當形狀的管子模塑出蠟燭的尖椎端，切平底部並整理乾淨。這道手續做得好，工人就可以用這個方法精確地做出4磅、6磅或其它重量的蠟燭。

然而我們不能在製造過程耽擱太多時間，我們必須進入正題研究蠟燭這個物質。我還沒跟你說到蠟燭豐美的視覺享受（因為在蠟燭世界裡真的有精品般的東西）。看哪，這些顏色多麼美麗，你看到偏紫的紅色、偏紅的紫色，以及最近發明的化學顏色都能在蠟燭裡見到。這裡有根精工雕刻，像是希臘石柱的蠟燭；我也帶來一些裴叟先生給我的蠟燭，這些蠟燭經過設計和裝飾，而當我點燃它時，你看到上方浮著一輪閃耀的太陽，下面像是一束捧花。然而，這些精緻漂亮的東西並不實用。希臘石柱型的蠟燭美則美矣，卻不好用；因為外型的緣故使得它們不好用。儘管如此，我還是讓你看看朋友送我的、不同種類的蠟燭，你就曉得現在的蠟燭可以做到甚麼程度，還可能做出哪些不同的成品；雖然，如我所說的，精緻的修飾會犧牲掉事物的本質。

■ 觀察蠟燭的燃燒

現在來談蠟燭的光。我們將點燃一、兩支蠟燭，並讓它們持續燃燒，展現它們應有的功能。你觀察到蠟燭和油燈相當不同。使用油燈的時候，你把油注滿底盤，放進些許製備的棉花，接著點燃棉花的上端。當火焰往下燒到與油接觸時，火會熄滅，但是上頭

會繼續燃燒。你一定會問說：為什麼油本身不燃燒，但卻會在棉花上端燃燒呢？我們現在就來檢視這個問題，不過蠟燭燃燒是一件更為神奇的事。現在有個沒有容器盛裝的固態物體；這個東西要如何爬上火焰燃燒的地方呢？這個固體要如何到達燃燒的位置，但又不會變成液體呢？或者說當它變成液體時，要如何維持在一起的狀態且不散呢？這就是蠟燭神奇的地方了。

現在有些風，風對我們說明這個示範實驗可能有幫助，但我們也可能被燭火戲弄了；為了讓我們的演示不受干擾，也為了簡化整個過程，我需要一個穩定的燭火；在研究過程中假如出現預期外的干擾，我們就無法好好地做研究。週六晚上在菜市場可以看到賣菜、馬鈴薯或賣魚的小販，他們用一個很好的東西來避免蠟燭被吹熄。我頗為欣賞這個器具，他們在蠟燭周圍蓋上燈罩，上面有道滑軌支撐並鉤住燈罩，使用者可以就需要將燈罩滑上滑下。依照同樣方法使用燈罩，我們便能擁有穩定的火源，你可以看著、仔細檢視這穩定的蠟燭燃燒，我希望你在家裡也能這樣試試看。

首先，一個美麗的杯狀凹槽形成了。當空氣接近蠟燭時，蠟燭產生的熱氣流把空氣往上推，這股空氣冷卻了蠟、脂肪或燃料的外圍，讓外部邊緣溫度比內部中央低；火焰盡可能地沿著燭蕊向下燃燒，同時融化內部，但是外部並不會融化。假如我在一個地方施予氣流，蠟燭凹槽的壁將在另一側下垂，融化的液體就會流出來；因為萬有引力——讓這個世界得以聚合的力量——使液體保持水平，如果凹槽不是水平的，液體便

會沿著溝槽流下。因此你曉得，這個凹槽的形成歸功於那美妙的、規則的上升氣流，它同時也使蠟燭外部保持冷涼。沒有這個杯狀凹槽，其它燃料無法作成蠟燭；愛爾蘭沼澤的木頭是個例外，因為木材本身就像海綿，可以吸收燃料。

如果點燃我先前演示的漂亮蠟燭，你就曉得為什麼結果很糟糕；這些漂亮蠟燭形狀不規則、表面不連續，因此沒辦法好好形成凹槽的邊緣，而凹槽是蠟燭最棒的地方。現在我希望你能了解，一道程序的完美結局，就是他的實用性，是這整個過程中最美好的。普通的蠟燭並不漂亮，但是卻運作良好，也是對我們最有用的。美麗的蠟燭燃燒起來並不順利，在蠟燭壁上會出現溝槽，因為氣流不規律，隨之形成的凹槽也不好。當蠟燭壁上淌下融化的蠟使某處變厚時，你會看到不穩定的上升氣流（我相信你會看到這些）。隨著蠟燭持續燃燒，在壁上形成突出的細柱，因為這根細柱高出旁邊的蠟或其它種燃料，空氣在這裡流動得更好，這邊的溫度會比較低，進而阻擋周邊的熱。一如其它事理，人類對於蠟燭的重大誤解將教導我們那些如果沒有實際經歷，便無從獲得的知識。我們聚在這裡，希望成為思想者，我希望你永遠記得，無論何時你看到一個結果，特別是新的結果時，你應該要問：「這是甚麼原因造成的？為什麼它會發生呢？」經過一段時間推敲之後，你就會找到原因。

我們還能從另一個點切入，回答關於蠟燭的問題，也就是研究蠟油從凹槽流出，由燭蕊往上到達燃燒位置的方式。用蜜蠟、硬脂肪酸或鯨油做成的蠟燭，燭蕊燃燒的火焰

不會往下跑到蠟或其它地方，將整支蠟燭融化，而會保持在恰當的位置。火焰被下方的液體阻攔，不會侵毀凹槽的周圍。我想不出更完美的例子了，在此燃燒過程中，蠟燭的各個部分相輔相成。像蠟燭這種可燃物會漸漸燃燒殆盡，但又不會被火焰從外部入侵，是很棒的景象，尤其在你知道旺盛的火直接燒到蠟上的時候，蠟會被火焰催毀，當火靠得太近時，蠟也會被火焰變形。

■ 燭蕊藉毛細作用，持續地將蠟燭融化並傳送到火焰

但火焰是如何取得蠟油以作為燃料的呢？這裡有個很棒的觀點——**毛細作用**。「毛細作用！」，或「毛髮間的吸引」，在我們還沒好好了解它真正的作用之前，不用太在意名稱；這是前人取的名字。因為毛細吸引的作用，作為燃料的蠟油被運輸、存放在燃燒進行的地方，這個過程不是任意的，而是被巧妙地安置在燃燒作用發生的中心。現在我要給你一、兩個毛細吸引的例子。這個動作或吸引力使兩個互不溶解的東西聚在一起。例如，洗手時你弄濕雙手、抹上肥皂，使皂液附著得更好，然後你發現手還是濕漉漉的。這就是待會兒我要說的那種吸引力。如果你的手沒弄髒（因為日常生活中，雙手通常是髒的），將指頭伸入溫水，水會些微地從手指頭向上爬升——很可能你以前還沒有注意過這件事情呢。

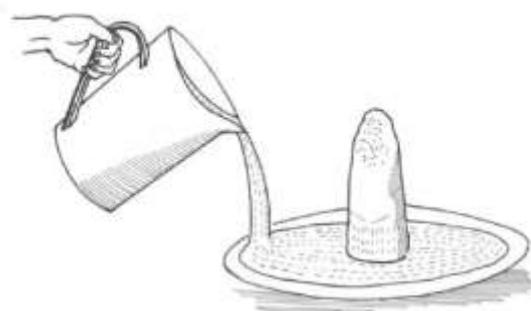


圖 1

我有一個多孔的物質——一支鹽柱（圖 1），然後我在盤子底部注入看起來像水但不是水的液體；這是飽和的鹽水，無法再溶解更多的鹽，所以你看到的作用並非溶解的緣故。我們將盤子想像成蠟燭，鹽柱當成燭蕊，鹽水則是融化的蠟。（我事先將鹽水染成藍色，好讓你看清楚作用過程。）現在我把液體倒進去，如果鹽柱不倒下的話，液體會升高、漸漸爬上鹽柱，越來越高；液體會爬到頂端，。如果這藍色的液體是可燃的，而且我們把一條燭蕊放到鹽柱頂端，當液體滲入燭蕊時就可以燃燒。觀察這種作用以及相關的細節是很有趣的。洗完手時，你拿毛巾擦乾雙手；因為這種濕潤的方式，水會沾上毛巾，蠟燭燃燒時，融化的蠟會爬上燭蕊。我認識一些不拘小節的男孩和女孩們（當然謹慎的人也會這樣做），把擦過手的毛巾丟在臉盆旁邊，沒有多久臉盆裡所有的水就被毛巾吸乾，滴得地上溼答答的，因為它剛好被丟在有水的臉盆，水因為毛細作用被吸引而滴到外面的地上。

我手上有個網紗做成的管子，裡面裝滿水，在這個過程中，就某方面來說，你可以

把這容器視為棉花，或從另一個角度觀之，將它視為棉布。事實上，有時候燭蕊是用網紗做的。你會發現這管子是個可滲透的東西；因此我從上端倒水進去，會從底下流出來。以下問題可能讓你思索好一會兒，如果我問你：這管子的情形怎樣？裡面是甚麼？為什麼它會在那裡面？這根管子注滿水，但同時你也看到水進進出出，好像管子是空的。為了證明給你看，我只好將它倒出來。原因是這樣子的：網子一直是濕的，篩孔很小，以至於液體從這端被強力吸引到另一頭，所以管子裡一直有水，即使管子是有開口的。利用相似的方法，融化的動物脂肪粒子爬上棉花並到達頂端；其它粒子因為相互吸引的作用跟隨在後，當它們到達火焰燃燒的地方時，也加入燃燒。

接下來也是同樣的原理。看看這根樹枝。我在路上看過一些男生把樹枝點火，假裝是雪茄，學大人的樣子抽菸。他們能這樣做，是因為樹枝單向的可滲透性，也是因為毛細管現象。如果我把這根樹枝放在盛有樟腦精的盤子（大體而言，樟腦精的性質和石蠟類似），一如前面藍色液體滲入鹽柱的道理，樟腦精會滲入這根樹枝。因為旁邊沒有毛孔，所以液體無法往那方向去，但是一定會流經整根樹枝。液體已經流到樹枝頂端了；現在我可以點燃它，就跟蠟燭一樣。因為樹枝的毛細現象，液體會往上爬升，就像在蠟燭裡面的棉花一樣。

為什麼蠟燭不會把燭蕊周圍都燒掉呢？唯一的解釋是：融化的動物脂肪把火滅掉了。你知道，如果把蠟燭倒過來，想讓作為燃料的蠟油流到燭蕊，蠟燭反而熄滅了。原

因在於火焰來不及加熱蠟油到足夠的溫度好燃燒起來，在前面成功燃燒的例子中，只有少數蠟油被帶到燭蕊，並且在燭蕊上還有熱。



圖 2

■ 重新點燃熄滅的蠟燭

關於蠟燭，還有一個現象可以讓你理解蠟燭運作的原理，也就是蠟油作為燃料燃燒後，產生煙霧的情形。為了讓你了解，我來演示一個很棒，但也很平常的實驗。如果你迅速地吹熄蠟燭，會看到餘煙裊裊升起。我知道你經常聞到蠟燭熄滅的煙味，不太好聞；如果你能靈巧地吹熄，便能清楚看到煙霧中有轉變過的固體物質。我接下來要吹熄這些蠟燭，不讓我連續的呼吸擾亂蠟燭周圍的空氣；而現在，如果我拿一根點火棒，距離燭蕊大約 5 公分遠，你會看到一串火苗沿著煙霧爬上蠟燭（圖 2）。我最好手腳俐落些，如果我的動作太慢，煙霧就有時間冷卻進而凝結為液體或固體，可燃物質的流動就會受到妨礙。

■ 氣流對火焰形狀的影響

接下來，我們要談到火焰的形狀或形態。也就是蠟燭中的物質爬上燭蕊後所產生的，只有燃燒或火焰那無可比擬的美和亮光。黃金、白銀耀眼迷人，紅寶石、鑽石、珠寶更是光彩奪目；但它們都不如火焰出色動人。哪顆鑽石能閃耀如火呢？夜裡鑽石的光輝尚須向火焰借光。火焰在暗夜裡閃耀，除非火焰照上鑽石，它才得以展豔。蠟燭只為自己、依靠自己發亮，或是為那準備蠟燭的人工作。現在我們來觀察玻璃燈罩裡火焰的形狀，它的形狀穩定且均勻。其形狀如圖3所示，火焰的外形隨著氣流擾動變化，也依據蠟燭大小而變。



圖 3

這是個光亮的橢圓形，上面比下面亮，燭蕊在中間；除了燭蕊比較暗之外，在底部還有更暗的部份，這部份的燃燒不像上面那麼完全。我這裡有張圖，幾年前由虎克⁴所繪

製的，那時他正在做這方面的研究。這張圖畫的是油燈的火焰，但也適用於蠟燭的火焰。蠟燭的凹槽就如同盛放的器皿或檯座；融化的鯨油則可視為燃油；而蠟燭和油燈都有燈蕊。在燈蕊上點起小小的火苗，然後發生了一件事：有些你看不到的物質從火焰升起，假如你沒有聽到前面的演講或不熟悉這主題，你就不知道有這些物質。

虎克描繪出火焰周圍非常關鍵、無時不在的氣流。我們的蠟燭有股氣流成形並拉長火焰；你所見的火焰被拉得很高，就像虎克在圖上畫的氣流延展的形貌。你可以把點燃的蠟燭拿到陽光下，讓它的陰影投射到一張紙上，或許就能看到我所說的樣子。這是多麼神奇呀，自身亮得足以使其它東西產生陰影的，也會在紙上被投出陰影（圖4），如此你就能確實看到周圍不屬於火焰本身的氣流，而這氣流上升並拉高火焰。現在我要把電池裝上電燈，好模擬太陽光。你現在看到我們的太陽和它的亮光；在光源和屏幕中間放置蠟燭，就得到了火焰的影子。你觀察到蠟燭和燭蕊的陰影；接下來是如圖所示（圖4）的一片微暗的區域，還有一塊較遠的區域。挺神奇的是，從影子觀察到火焰最暗的地方，實際上是最亮之處；這邊你看到熱空氣往上流，一如虎克畫的那樣，這股氣流拉長火焰、供應空氣並冷卻融蠟的凹槽圍牆。

⁴ 虎克 (Robert Hooke, 1635-1703)，英國科學家，為英國皇家學會一員，在物理學、生物學上卓有成就。

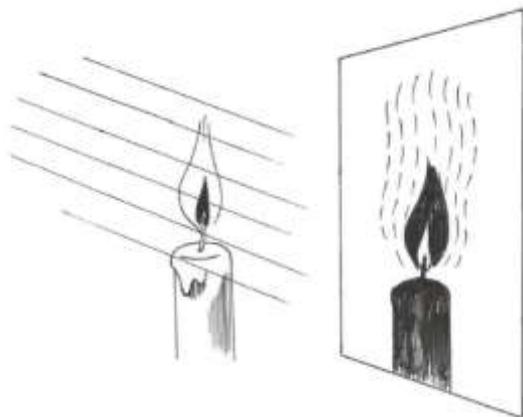


圖 4

我再更進一步演示，讓你們看看火焰如何因為氣流而上升和下降。我這裡有一具火焰——這不是燭火——但無疑地，它和燭火所受的影響是一樣的。我現在要做的是將上升的氣流改變為下降氣流。我可以藉由面前這個裝置輕易做到（圖 5）。

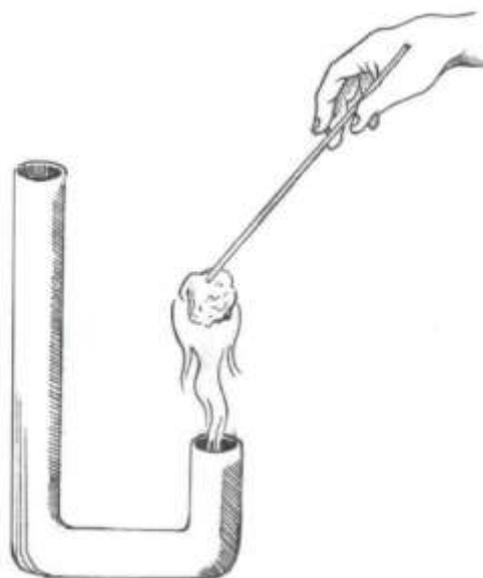


圖 5

如我剛才所說，這火不是燭火，而是酒

精燃燒的火，所以不會產生很多煙。我也用某種物質為酒精染色，如此你才好追蹤它的軌跡；假如沒有染色，你就看不清楚，也就難以追蹤其軌跡。點燃酒精，我們製造出火焰，接著你觀察到，把火焰舉在空中，它自然會上升。你相當瞭解為什麼在一般環境下火焰會往上升：是因為這股協助燃燒的空氣的流動造成的。但是現在我把火焰向下吹，你看，我讓火焰往下進入這個小煙囪，氣流的方向被改變了。在這堂演講結束前，我們應該讓你看一種燈，它的火焰往上升，但煙霧卻向下降，或是火焰下降但煙霧上升。我們可以改變火焰的方向。

我得提醒你幾件事。大部分你看到的火焰，其形狀受到周圍不同走向的氣流所影響；如果需要的話，我們可以控制火焰，這樣它們看起來像是固定的，而且我們可以對它照相——實際上我們有必要照下它們——這樣它們才能固定，好讓我們得到所有關於火焰的知識。不過，這不是唯一我想提醒你的。如果我升起一團大火，它的形狀便不會這麼一定、這麼齊整，但它的火焰卻迸發出相當的活力。我將援用另一種燃料，也可以如實地代表蠟燭中的蠟油。我有一大團棉花，用來作為燭蕊。將這團棉花浸入酒精液體並點燃之後，它和普通蠟燭有甚麼不同呢？啊，它們差異可大了，這東西燃燒時生氣勃勃且充滿活力，它的美、它的生命在在不相同於燭光。你看到那些美妙的火舌升起。這團火從下到上均勻地燃燒，除此之外，它還擁有引人注目的、迸發的火舌，這是蠟燭燃燒看不到的。

為什麼有如此不同呢？我得向你解釋，

完全理解之後，你就可以更順利地與我繼續接下來的課題。我猜在座已經有人嘗試過我要演示的「吞龍」⁵實驗了。要瞭解火焰的原理以及燃燒的歷史，我想不出比吞龍更好的方法了。首先，這裡有個盤子；在玩吞龍時，你應該先有個溫過的盤子；還有溫的葡萄乾和溫的白蘭地。當你將酒注入盤子，你就有了凹槽和燃料；葡萄乾的作用，不就像是燭蕊嗎？現在我把葡萄乾丟入盛著酒的淺盤，點火使之燃燒，你會看到我所說的漂亮火舌。空氣從盤子邊緣流入，形成這些火舌。為什麼呢？因為氣流的力量和火焰運動的不規則，空氣無法均勻地流入火焰。因為氣流流動不規則，本來應該是單一的火焰，被分成了各自獨立的火焰。事實上，我們可以將它看作好多根蠟燭。你看見盤子裡同時長出好幾道火舌，每道火焰形狀不一，我們不應該因為它們同時出現，便將其視為同一道火焰。絕對不會有一道火焰，它的形狀像是從盤中升起的那個樣子。這團火由許多獨立火焰組成，此起彼落相當迅速，肉眼無法區別，這張圖(圖6)演示火焰組成中的不同部分。很可惜，我們才玩過吞龍的遊戲，這堂課就要結束了；但在任何情況下我都不能耽擱您的時間。將來我該學習，多把時間用在探索事物的原理，避免在這些演示上佔用太多的時間。

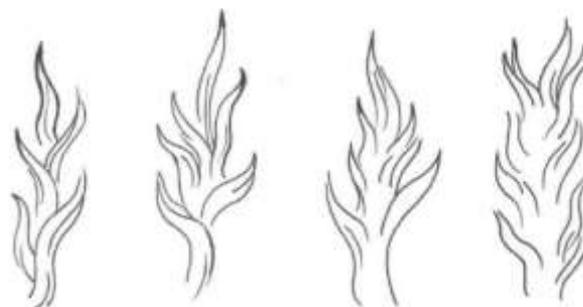


圖 6

⁵吞龍 (snapdragon) · 16-19 世紀盛行於英國地區的聖誕節遊戲。在盤中放置葡萄乾和白蘭地酒，點火燃燒白蘭地酒後，眾人以手搶葡萄乾，並放到嘴中吞下。因為白蘭地燃燒時製造出藍色火焰，通常會在昏暗燭光下或關燈後進行遊戲。